



**DEÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**FEN ve MÜHENDİSLİK DERGİSİ**  
**Cilt: 8 Sayı: 1 s. 129-138 Ocak 2006**



**SOĞUK ÇEKİLMİŞ LEVHA MALZEMELERDE GERİLME ANALİZİ**  
**(STRESS ANALYSIS OF COLD-FORMED STEEL STRIPS)**

**S. Özmen ERUSLU\*, Çiçek ÖZES\***

**ÖZET/ABSTRACT**

Bu çalışmada civatalı bağlanmış soğuk çekilmiş levha malzemelerin kayma gerilmesi altındaki yapısal davranışı ve yük taşıma kapasitesi sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada düşük mukavemetli, yüksek sünekliğe sahip G300 çeliği ile yüksek mukavemetli ve düşük sünekliğe sahip G550 çeliği kullanılmıştır. Rondela boyutu ve sürtünme katsayısının farklı değerleri için analiz yapılmıştır. Civata bağlantılarının yük-uzama eğrilerinin doğru tespiti için temas rijitliğinin, gerilme-birim uzama eğrilerinin, rondela çapının önemli parametreler olduğu ortaya çıkmıştır.

*In this work we investigate the structural performance and load carrying capacity of cold-formed steel bolted connections under shear by finite element method. In our work we used two different materials namely G300 which has low strength, high ductility and G550 which has high strength, low ductility. We did our analysis for different friction coefficient and washer size the predicted bearing resistance. It is found that contact stiffness, frictional coefficient between element interfaces stress -strain curves and washer size are important parameters for accurate prediction of the load extension curves of the bolt connections.*

**ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS**

Civatalı bağlantılar, Soğuk Çekilmiş Çelik Şeritler, Nonlineer Kontak analizi, Plastisite  
*Bolted connections, Cold-Formed Steel Strips, Nonlinear Contact Analysis, Plasticity*

---

\* DEÜ, Mühendislik Fak., Makina Müh. Bölümü, Bornova, İZMİR.

## 1. GİRİŞ

Malzeme teknolojisindeki son gelişmelerle akma mukavemeti 550MPa kadar çıkartılan hem yapısal hem de fonksiyonel gereksinimleri karşılayan soğuk çekilmiş levha malzemeler inşaat endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptir. Yüksek mukavemete sahip çelik şeritler genellikle rüzgar alan bölgelerde eternet malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Profilli çelik levhaların tasarımında her ülkenin ulusal standardı vardır. Kullanılan soğuk çekilmiş çelik levha standartlarına göre akma mukavemeti 550 MPa olan çeliklerde düşük süneklik sebebiyle maksimum mukavemetin %75'i alınmaktadır. Dhalla ve Winter'ın süneklik kriterini referans alan bu standartlar daha çok yüksek süneklik ve düşük mukavemete sahip olan çelik levhalara cevap vermektedir. 1998 yılında Rogers ve Hancock bu konuda çalışmalar yapmış standartları karşılaştırmışlardır. Chung ve Ip 1999 ve 2000 yılında yaptıkları çalışmalarda, G550 soğuk çekilmiş levhalar için yapısal davranışı incelemiş standartları irdelenmiştir. Standartların G550 çelik levhaların civatalı bağlantılarında düşük süneklik sebebiyle doğru sonuçlar vermediği ortaya çıkmıştır. Bu sebeple yüksek mukavemetli çelik levhalar için mukavemet ve deformasyon karakteristiklerinin tekrar gözden geçirilip yeni tasarım kuralları ortaya konulmaktadır.

## 2. PROBLEMİN TANIMI

Çalışmada düşük mukavemetli, yüksek süneklığe sahip G300 çeliği ile yüksek mukavemetli ve düşük süneklığe sahip G550 çeliği kullanılmıştır. Her iki malzeme içinde Rondela boyutu (çap ve kalınlık) ve sürtünme katsayısının farklı değerleri için analiz yapılmıştır. Bu değişkenlere bağlı olarak 8 değişik model oluşturulmuştur. Bu modellere ait detaylı bilgi Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Model Bilgileri

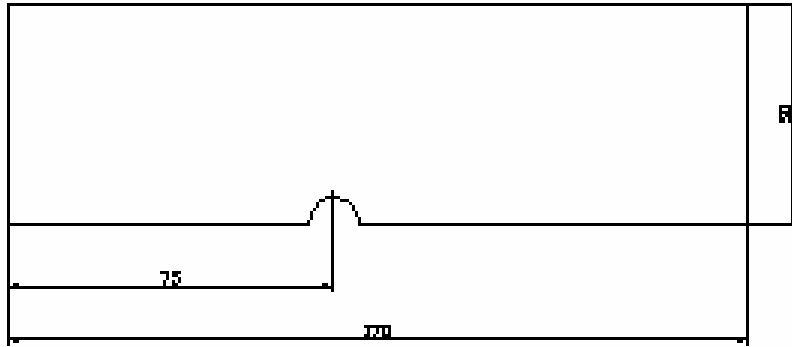
Levha Malzemesi	Levha Kalınlığı (mm)	Rondela çapı (mm)	Rondela kalınlığı(mm)	Sürtünme katsayısı $\mu$
G300-1	1.5	25.7	2.3	0.2
G300-2	1.5	25.7	2.3	0.4
G300-3	1.5	32.1	3	0.2
G300-4	1.5	32.1	3	0.4
G550-1	1.6	25.7	2.3	0.2
G550-2	1.6	25.7	2.3	0.4
G550-3	1.6	32.1	3	0.2
G550-4	1.6	32.1	3	0.4

## 3. SONLU ELEMAN MODELİ

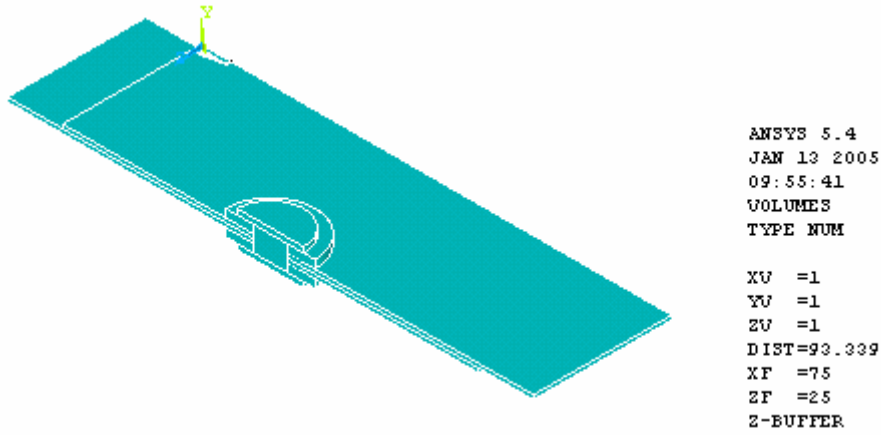
Çalışmamızda simetri özellikleri kullanılmak suretiyle modelin bir yarısı göz önüne alınmıştır. Modelini oluşturduğumuz levhanın boyutları aşağıda gösterilmektedir.

Çalışmada ANSYS sonlu eleman paket programı kullanılmıştır. M12 Civata ile birleştirilen levhalar üç boyutlu sekiz düğümlü isoparemetrik Solid 45 eleman ile meshlenmiş, temas yüzeyleri (civata ile levha malzeme, rondela ile levha malzeme) ise Contact 49 eleman ile modellenmiştir. Civatanın delik içine tam yerleştiği kabul edilerek civata dişleri ihmal edilmiştir. Levhalardan biri bir uçtan ankastre olarak sabitlenmiş diğer levhanın ucuna 0.5; 1.5; 3 mm'lik uzamalar 3 kademede uygulanarak çekme işlemi simule edilmiştir (Şekil 2).

Simetrik yüzeylere simetri sınır koşulları uygulanmıştır. Elasto-plastik bir analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Levha modelinin boyutları



Şekil 2. Numunemizin sonlu eleman modeli

Çalışmamızda kontak rijitliği 2000' dir. Sürtünme katsayısı değeri ise 0,2 ve 0,4 olarak alınmıştır. Analizler boyunca kontak rijitliği ve sürtünme katsayısı değerleri sabit kabul edilmiştir. Analizlerimiz boyunca rondela ve civata malzemesi aynı alınmış tek bir malzeme olarak modellenmiş ve elastik davrandıkları kabul edilmiştir. Uygulanan deplasman oranları için civata üzerindeki gerilme ve şekil değiştirme kontrolü yapılmamıştır. Kullanılan malzemelere ait bilgi aşağıda çizelge halinde gösterilmektedir.

Çizelge 2. Malzeme özellikleri

	Elastisite Modülü (MPa)	Possion Oranı	Akma Mukavemeti(MPa)
G300	205.000	0.3	320
G500	216.000	0.3	620
Civata	205.000	0.3	-

#### 4. ANALİZ SONUÇLARI

G550 malzemesine ait Von Mises gerilme dağılımı farklı uzama için Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Uzamanın artması ile akma bölgesinin hızla genişlediği görülmektedir. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de ise 3 mm uzama sonucunda x, y, xy şekil değiştirme bileşenleri görülmektedir. Gerilme dağılımını gösteren şekiller üzerindeki birimler [Mpa] cinsinden verilmiştir. Birim uzama değerlerini gösteren şekiller üzerindeki birimler ise [mm] cinsinden verilmiştir.



Şekil 3. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (0.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 4. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 5. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) X yönündeki birim uzama

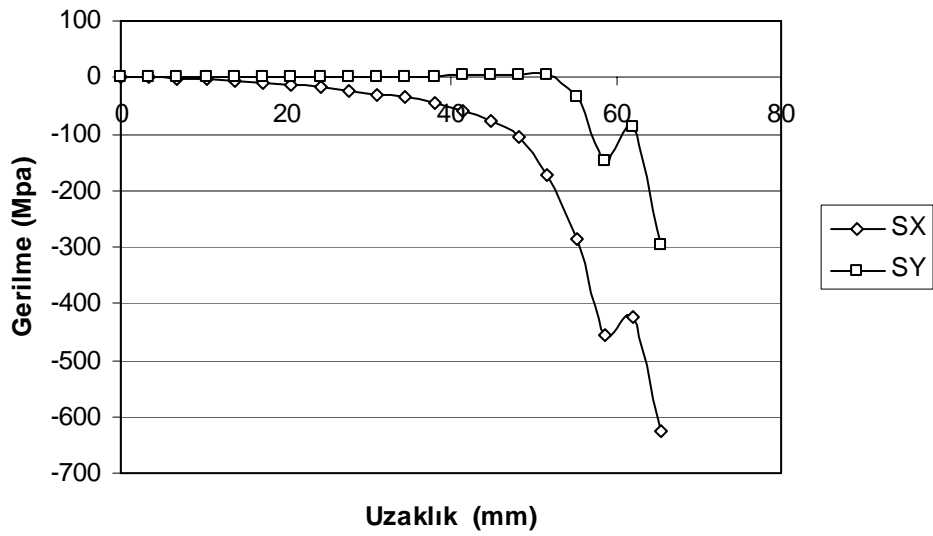


Şekil 6. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) Y yönündeki birim uzama



Şekil 7. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) XY yönündeki birim uzama

Şekil 8’de verilen grafikte  $\mu=0.2$  sürtünme katsayısı değerinde G550 levha için 3mm deplasman altındaki x ve y yönündeki kenar boyunca gerilme değerleri gözlenmektedir.

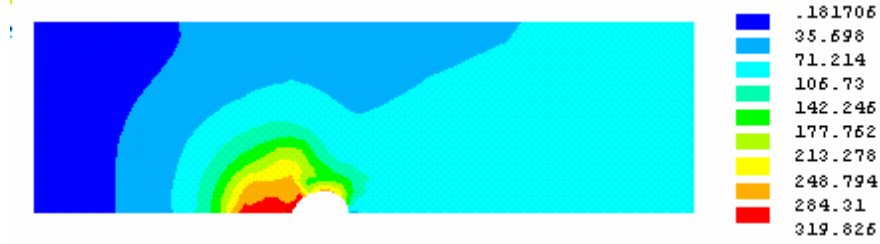


Şekil 8. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) X ve Y yönündeki gerilmeler

G300 malzemesine ait von Mises gerilme dağılımı farklı uzama için Şekil 9 ve Şekil 10’da verilmiştir. G550 ile karşılaştırıldığında akmanın büyük bir alanda olduğu gözlenir. Bunun nedeni yüksek sünekliktir. Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ’de ise 3 mm uzama sonucunda x,y,xy şekil değiştirme bileşenleri görülmektedir.



Şekil 9. G300 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (0.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 10. G300 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 11. G300 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) X yönündeki birim uzama



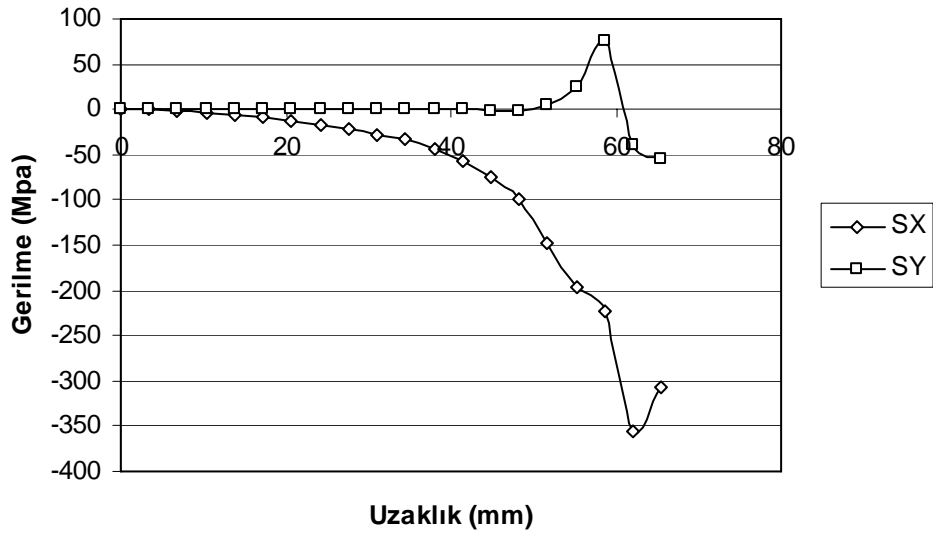
Şekil 12. G300 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) Y yönündeki birim uzama



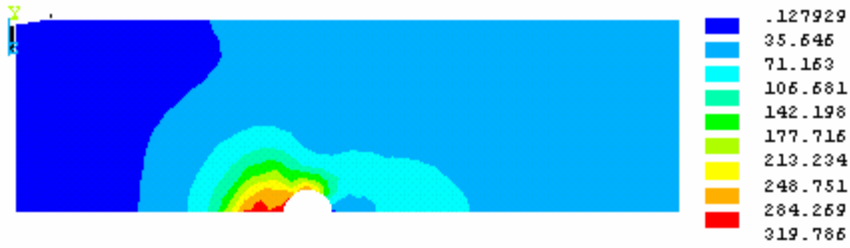
Şekil 13. G300 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) XY yönündeki birim uzama

Şekil 14'te verilen grafikte  $\mu=0.2$  sürtünme katsayısı değerinde G300 levha için 3mm deplasman altındaki x ve y yönündeki kenar boyunca gerilme değerleri gözlenmektedir.

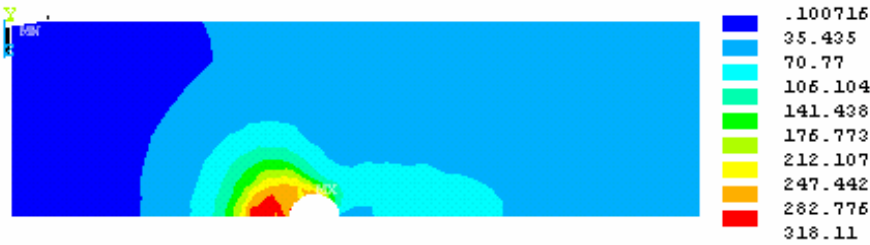
Yukarıda yapılan inceleme G300 ve G550 çelik levha için  $\mu=0.2$  ve küçük çaplı pul için yapılmıştır. En önemli hasarın delik çevresinde olduğu gözlenmektedir. Delik çevresindeki X ve Y yönündeki gerilmeler akma değerlerinin oldukça üzerinde çıkmıştır. Ayrıca sürtünme katsayısının ve rondela etkisini incelemek amacıyla gerilme dağılımı gözlenmiştir. Aşağıdaki Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de G300 ve G550 malzemeli çelik şeritler için 1.5mm deplasman altında rondela çapına bağlı olarak gerilme değişimi görülmektedir.



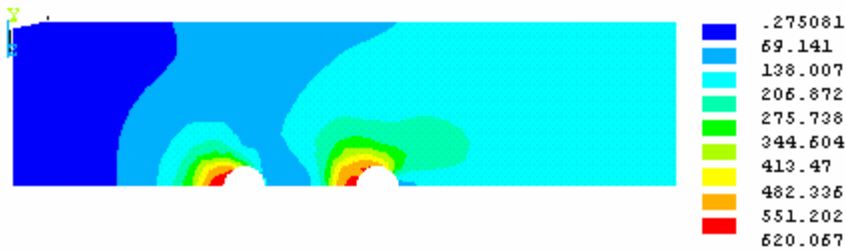
Şekil 14. G300 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) X ve Y yönündeki gerilmeler



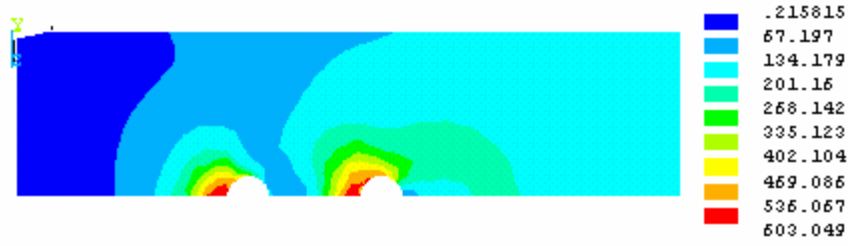
Şekil 15. G300 çelik şeritlerin küçük pul ile civatalı bağlantılarında (1.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 16. G300 çelik şeritlerin büyük pul ile civatalı bağlantılarında (1.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 17. G550 çelik şeritlerin küçük pul ile iki civatalı bağlantılarında (1.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 18. G550 çelik şeritlerin büyük pul ile iki civatalı bağlantılarında (1.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı

Rondela çapı arttıkça gerilme dağılımında önemli oranda artışlar gözlenmemektedir. Sürtünme katsayısının etkisini incelemek amacıyla G550 çelik şeritlerdeki küçük pul kullanarak 1.5 mm ve 3 mm deplasman altındaki farklı sürtünme katsayısı için davranışını inceledik. Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21 ve Şekil 22’de verilen grafiklerde bu etki görülmektedir.



Şekil 19. G550 Çelik Şeritlerin civatalı bağlantılarında (1.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı  $\mu=0.2$

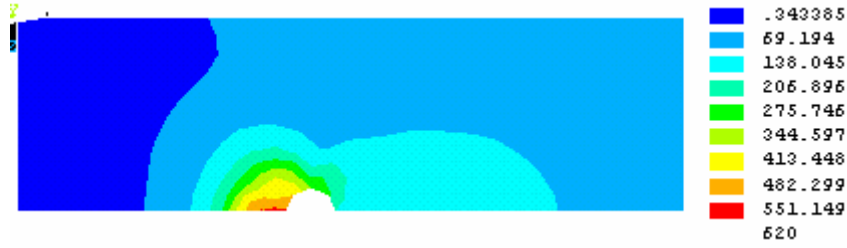


Şekil 20. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (1.5 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı  $\mu=0.4$



Şekil 21. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı  $\mu=0.2$



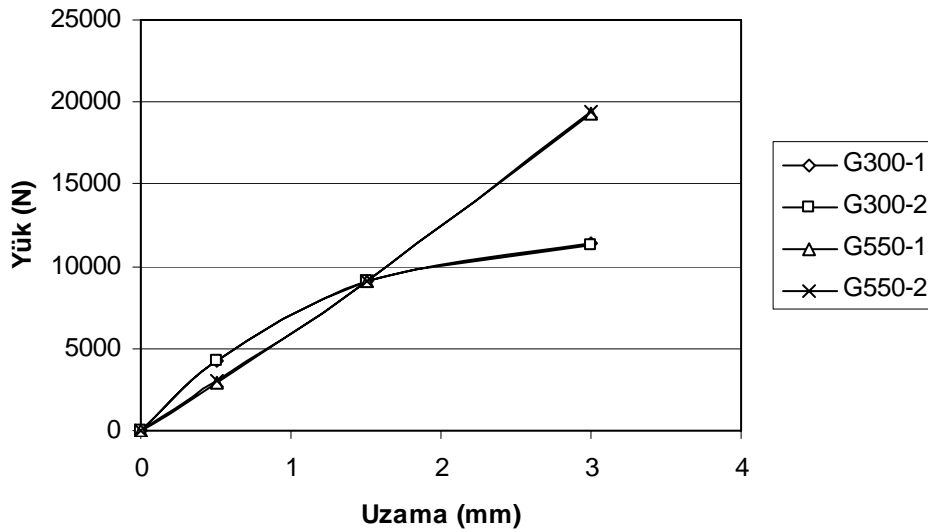


Şekil 22. G550 çelik şeritlerin civatalı bağlantılarında (3 mm deplasman altında) Von Mises gerilme dağılımı  $\mu=0.4$

Görüldüğü gibi 1.5 mm deplasman altında sürtünme katsayısının gerilme değerleri üzerinde etkinliği gözlenmekte birlikte 3 mm deplasmana ulaşıldığında gerilme dağılımında hasar yaratacak etkinin sürtünme değişimiyle gerçekleşmediği gözlenmektedir.

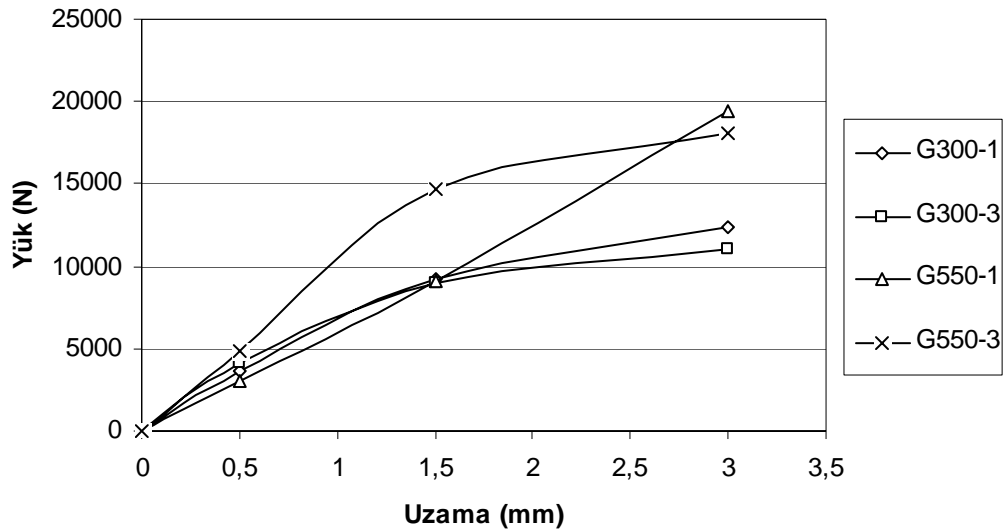
#### 4.1. Yük Taşıma Kapasitesi

Yaptığımız çalışma sürtünme katsayısının ve rondela çapının gerilme dağılımları üzerinde önemli bir etki yaratmadığını göstermiştir. Bu parametrelerin etkisini ayrıntılı şekilde incelemek amacıyla sürtünme katsayısı, yük taşıma kapasitesi ve rondela çapı, yük taşıma kapasitesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Şekil 23'te verilen grafikte  $\mu=0.2$  ve  $\mu=0.4$  için G300 ve G550 levhadaki yük taşıma kapasiteleri görülmektedir.



Şekil 23. G300 ve G550 çelik şeritler için farklı sürtünme değerleri için yük-uzama eğrileri

Ayrıca her bir çelik levhada sırasıyla 25.7 mm ve 32 mm rondela çapı için yük taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 24'te verilen grafikte sunulmuştur.



Şekil 24. G300 ve G550 çelik levhalar için farklı rondela çapları için yük-uzama eğrileri

Görüldüğü gibi sürtünme katsayısı yük taşıma kapasitesi üzerinde herhangi bir etki yapmamakla beraber rondela çapı arttıkça yük taşıma kapasitesi azalmaktadır.

## 5. SONUÇLAR

- Boyut faktörü ihmal edildiğinde en önemli hasarın civata yatağı çevresinde olduğunu görüyoruz.
- G300 malzemede elde edilen veriler göstermektedir ki akma bölgesi daha geniş bir alanda görülmektedir. Bunun sebebi G300 malzemenin G550'ye göre daha sünek olmasıdır.
- Yük-uzama eğrilerinin doğru tespiti için temas rijitliğinin, gerilme-birim uzama eğrilerinin, rondela çapının önemli parametreler olduğu ortaya çıkmıştır.
- Sürtünme katsayısının civata deliği hasarı üzerine önemli bir etki yapmadığı ortaya çıkmıştır.
- Sürtünme katsayısının ve rondela çapının değişimi gerilme dağılımları üzerinde önemli bir etki yaratmamaktadır.
- Akma kriterini baz alarak yapılan çalışmada rondela çapı arttıkça yük taşıma kapasitesi düşmektedir.

## KAYNAKLAR

- Chung K.F, Ip K.H. (1999): "Finite Element Modelling of Bolted Connections between Cold-Formed Steel Strips and Hot Rolled Steel Plates under Static Shear Loading", Engineering Structures, 22, 1271-1284
- Chung K.F, Ip K.H. (2000): "Finite Element Investigation on the Structural Behavior of Cold Formed Steel Bolted Connections", Engineering Structures, 23, 1115-1125
- Chung K.F., Ip K.H. (1999): "Finite Element Modelling of Double Bolted Connections between Cold-Formed Steel Strips under Static Shear Loading", Proceedings of the Second International Conference on Advances in Steel Structures Cold-formed steel structure code AS/NZ 4600 (1996) Australia Standards New Zealand, Sydney.
- Rogers C.A., Hancock G.J. (1998): "Bolted Connection Tests of Thin G550 and G300 Sheet Steels", Journal of Structural Engineering, 124, 798-808.